

ОБНАРУЖЕНИЕ МНОГОКРАТНОГО ДОЛГОЖИВУЩЕГО СВЕТОВОГО ЭХА

Н.Н.Ахмедиев, Б.С.Борисов, В.А.Зуйков, В.В.Самарцев,
М.Ф.Стельмах, Р.Г.Усманов, А.А.Фомичев, М.А.Якшин

В кристалле $\text{LaF}_3 : \text{Pr}^{3+}$ (переход ${}^3H_4 - {}^3P_0$) обнаружено многократное долгоживущее световое эхо. Впервые в условиях многократного считывания наблюден и исследован эффект совпадения временной формы сигналов многократного долгоживущего светового эха с временной формой импульса-кода.

В работе ¹ было предсказано явление многократного долгоживущего светового эха (МДСЭ) и теоретически проанализированы условия его формирования. В работе ² проведены конкретные расчеты для интенсивности сигналов МДСЭ в случае неорганических кристаллов с примесными ионами. В данной работе впервые экспериментально обнаружено явление МДСЭ в кристалле $\text{LaF}_3 : \text{Pr}^{3+}$ на энергетическом переходе ${}^3H_4 - {}^3P_0$ (длина волны $\lambda = 4777 \text{ \AA}$) при температуре $T = 2,2 \text{ К}$. На рис. 1 пояснен порядок возбуждения сигналов

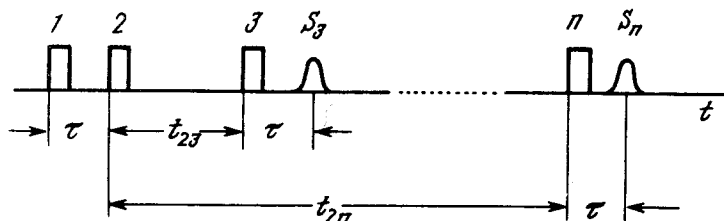


Рис. 1. Многоимпульсное возбуждение сигналов МДСЭ. Цифрой обозначен номер возбуждающего импульса n . S_n означает сигнал МДСЭ

МДСЭ и указаны моменты их генерации. Сигналы МДСЭ высвечиваются средой через интервал времени τ (равный запаздыванию второго импульса относительно первого) после каждого считывающего импульса (с номером $n \geq 3$) в направлении волнового вектора $\mathbf{K} = -\mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2 + \mathbf{K}_n$, где $\mathbf{K}_1, \mathbf{K}_2, \mathbf{K}_n$ - волновые векторы первого, второго и считывающего импульсов соответственно. Для надежной пространственной селекции сигналов МДСЭ удобен режим обращения ³, когда при $\mathbf{K}_2 = -\mathbf{K}_n$ имеем $\mathbf{K} = -\mathbf{K}_1$. В наших экспериментальных исследованиях мы ограничились изучением только сигналов обращенного МДСЭ.

В простейшем случае наличия одного канала промежуточной релаксации ¹, интенсивность сигналов МДСЭ пропорциональна как релаксационному множителю, так и произведению множителей κ_i :

$$I \sim \exp(-2\kappa t_{2n}) \prod_{i=3}^{n-1} \kappa_i \quad (1)$$

каждый из которых определяет потери сигнала при воздействии предыдущих считывающих импульсов и зависит от констант релаксации системы и площадей Θ_i считывающих импульсов (см. ¹). При одинаковых Θ_i и одинаковых интервалах между считывающими импульсами интенсивность сигнала МДСЭ убывает по закону геометрической прогрессии. В случае расщепления основного и возбужденного состояний на три подуровня, как это имеет место в кристалле $\text{LaF}_3 : \text{Pr}^{3+}$, зависимость интенсивности сигнала от t_{2n} и n оказывается более сложной ² и содержит несколько слагаемых типа (1). Однако и в этом случае большинство процессов релаксации происходит в миллисекундных масштабах времени и при

больших временах оказывается существенным лишь один из каналов релаксации и можно пользоваться формулой (1). Если учесть, что площади импульсов в эксперименте $\Theta_i \sim \sim 10^{-2}$, то множители K_i оказываются порядка единицы с точностью 10^{-5} и спад сигнала определяется в основном процессами релаксации, а не потерей информации при считывании очередным импульсом.

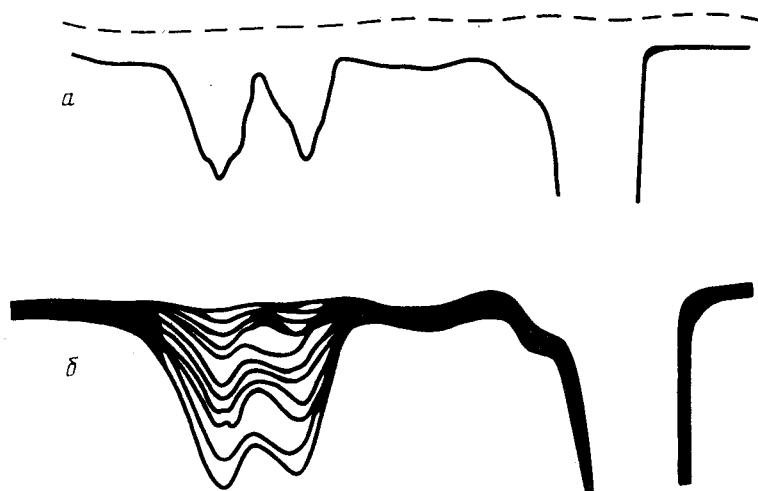


Рис. 2. Экспериментальные осциллограммы: а) первый и второй записывающие импульсы. Второй импульс имеет двугорбую форму (импульс-код). Интервалы между метками — 10 нс; б) считывающие импульсы и сигналы МДСЭ. Следующие друг за другом импульсы совмещены во времени

Экспериментальная аппаратура аналогична описанной в работе ⁴. Считывающие импульсы подавались на образец с частотой повторения $\nu = 12,5$ Гц. Для того, чтобы показать возможность записи в эффекте МДСЭ импульсов сложной формы, которая существует в эффекте стимулированного светового эха ⁵, в качестве второго записывающего импульса использовался импульс-код. Он формировался с помощью вспомогательного зеркала и делительных пластин ³. Форма импульса-кода приведена на осциллограмме (рис. 2 а). Слева на рисунке — первый записывающий импульс, справа — импульс-код. Пиковая мощность первого и считывающего импульсов составляла 10 кВт, а мощность импульса-кода на порядок ниже, для того, чтобы осуществлялся линейный режим возбуждения ⁶. При этих мощностях сигналы МДСЭ были столь интенсивны, что наблюдались визуально даже после седьмого импульса. Осциллограмма, иллюстрирующая существование эффекта МДСЭ и временной спад интенсивности, а также совпадение временной формы сигналов МДСЭ с временной формой импульса-кода, приведена на рис. 2 б. Слева на осциллограмме — считывающий импульс, справа — сигналы МДСЭ. Осциллограмма получена путем фотографирования с экрана осциллографа последовательности ~ 10 первых импульсов с запуском развертки каждым считывающим импульсом. Поэтому на рисунке все сигналы МДСЭ наложены друг на друга, что позволяет детально сопоставлять их форму и измерять скорость релаксации. Отметим, что эффект совпадения временных форм наиболее четко проявляется в условиях, когда время между максимумами подимпульсов, формирующих импульс-код, не меньше 15 нс. Двугорбая структура сигнала МДСЭ наблюдалась до значений $n \sim 38$. Сам сигнал МДСЭ можно было зарегистрировать вплоть до значений $n \sim 60$.

На рис. 3 приведена зависимость интенсивности сигнала МДСЭ от времени задержки t_{2n} (или от n) в полулогарифмическом масштабе. Экспериментальные точки получены путем обработки и усреднения данных на 10 осциллограммах. При $n > 9$ ошибка измерения велика из-за малости сигнала и эти данные мы не приводим. Величина I_0 , относительно которой измерены все интенсивности, — это интенсивность сигнала стимулированного светового эха при $t_{23} = 6$ нс. Величина скорости релаксации, полученная из данных рис. 3 составляет $k = 0,5 \pm 0,2 \text{ с}^{-1}$. Это значение приблизительно совпадает с величиной скорости релаксации k_{23} между сверхтонкими подуровнями основного состояния, полученной методом выжигания провалов ⁷. Отметим, что скорость релаксации k_{12} на порядок меньше ⁷, так что время жизни МДСЭ может составлять десятки секунд. Однако для обнаружения таких времен релаксации необходима более чувствительная аппаратура, чем использовавшаяся в нашем эксперименте.

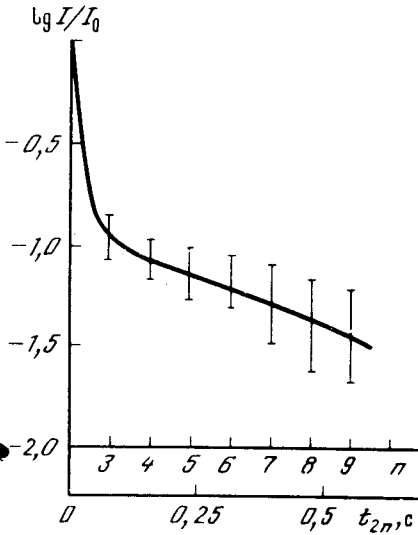


Рис. 3. Зависимость логарифма интенсивности сигналов МДСЭ от номера считывающего импульса. Частота следования импульсов — 12,5 Гц

Таким образом, в данной работе мы впервые наблюдали явление МДСЭ, а также явление совпадения формы сигнала с формой импульса-кода в условиях многократного считывания. Очевидно двугорбый характер временной формы импульса-кода является простейшим случаем кодирования информации. Включение в оптическую схему узла кодирования с электронным управлением позволит реализовать в оптике запись информации целыми словами.

Литература

1. Ахмедиев Н.Н., Борисов Б.С. Письма ЖТФ, 1985, 11, 533.
2. Ахмедиев Н.Н., Мельников И.В. ЖТФ, 1988, 58, 942.
3. Зуйков В.А., Самарцев В.В. Phys. Stat. Sol. (a), 1982, 73, 625.
4. Ахмедиев Н.Н., Борисов Б.С., Зуйков В.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 122.
5. Зуйков В.А., Самарцев В.В., Усманов Р.Г. Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 293.
6. Голенищев-Кутузов В.А., Самарцев В.В., Хабибуллин В.М. Импульсная оптическая и акустическая когерентная спектроскопия. М.: Наука, 1988, с. 230.
7. Shelby R.M., Macfarlane R.M., Yannoni C.S. Phys. Rev. B, 1980, 21, 5004.

Поступила в редакцию
28 октября 1988 г.